

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**  
**Приложение к рабочей программе по дисциплине Радиофизика,**  
**направленной на подготовку к сдаче кандидатских экзаменов**

**1. Общие положения.**

Организация и проведение кандидатских экзаменов регламентируется Положением о подготовке научно-педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования в Российской Федерации, утвержденным приказом Минобразования России от 27.03.98 №814 (зарегистрирован Минюстом России 05.08.98, рег. №1582), приказом Минобрнауки РФ от 08 октября 2007 г. N274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов».

Кандидатские экзамены являются составной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров.

Результаты экзамена оцениваются как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

**2. Цель кандидатского экзамена**

Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Сдача кандидатских экзаменов обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук.

**3. Содержание программы**

**3.1. Теория колебаний.**

Линейные и нелинейные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные системы. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем. Автоколебательные системы с двумя степенями свободы. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем конечной длины. Роль граничных условий. Представление вынужденных колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн, бегущих и отраженных от концов системы. Колебания периодически неоднородных распределенных систем. Полосы пропускания и непрозрачности.

**3.2. Статистическая радиофизика**

Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера-Хинчипа. Вычисление спектральной плотности. Воздействие шумов на линейные системы. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширина и форма спектральной линии. Пуассоновский процесс. Дробовой шум и формула Шоттки. Случайные по-

следовательности импульсов и их спектральная плотность. Тепловой шум. Классический вариант формулы Найквиста. Обнаружение слабых сигналов на фоне шумов. Оценка параметров сигналов. Согласованный фильтр. Теорема Котельникова. Проблемы статистической оптики. Пространственная и временная когерентность. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Интерферометрия интенсивности. Регистрация световых потоков с помощью фотодетекторов, полуклассическая интерпретация; статистика фотоотчетов и статистика лазерного излучения.

### **3.3. Теория волн**

Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Общий вид дисперсионного уравнения. Ограниченные пучки и импульсы в линейной среде. Представление волновых пучков в виде суперпозиции плоских волн. Дифракционное расплывание пучка. Параболическое уравнение. Распространение пучка и импульса, пространственно-временные аналогии. Волновой параметр. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Расплывание пакета в диспергирующей среде. Фурье-оптика. Распространение волны в нелинейной среде без дисперсии. Образование ударной волны. Нелинейные эффекты при распространении электромагнитных волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Фазовый синхронизм. Метод медленно меняющихся амплитуд для решения нелинейных волновых задач. Параметрическая генерация и параметрическое усиление. Самофокусировка и самодефокусировка волновых пучков в нелинейных средах. Нелинейная квазиоптика. Общие закономерности распространения волн в анизотропных средах. Свойства тензора диэлектрической проницаемости кристаллов. Нормальные волны в кристаллических и магнитоактивных средах. Поляризация нормальных волн. Электромагнитные волны в волноводах и периодических структурах. Волноводы СВЧ диапазона. Диэлектрические волноводы в оптике. Принципы построения антенн. Пространственные гармоники в периодических структурах.

### **3.4. Квантовая радиофизика**

Взаимодействие электромагнитного поля и вещества в дипольном приближении. Линейные и нелинейные тензоры диэлектрической восприимчивости. Полуклассическая теория излучения. Вероятность однофотонных и многофотонных процессов. Спонтанные и индуцированные переходы. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением; фотонное эхо, самоиндуцированная прозрачность. Форма и интенсивность спектральных линий, форма спектральных линий в атомных и молекулярных газах, электронные, колебательные и вращательные переходы. Правила отбора. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Естественная ширина, столкновительное и доплеровское уширение. Поперечное и продольное времена релаксации. Уширение спектральных линий активных центров в кристаллах, понятие о зонной структуре энергетических уровней твердых тел, оптические переходы в полупроводниках. Принципы работы приборов квантовой электроники. Методы создания инверсии населенности и отрицательного поглощения. Молекулярный генератор. Уравнение для поля в квантовом генераторе. СВЧ-резонатор. Одномодовый режим. Квантовые стандарты частоты (времени). Применение мазеров при радиофизических исследованиях космических объектов. Мазерные источники космического радиоизлучения (ОН, H<sub>2</sub>O и др.). Оптические резонаторы: Фабри-Перо, конфокальный, концентрический, неустойчивый. Продольные и поперечные типы колебаний,

спектр частот и расходимость (направленность) излучения. Добротность. Антенны и приемники для измерения космического радиоизлучения. Устройство и параметры лазеров: 1) трехуровневая система на рубине; 2) четырехуровневая система на неодимовом стекле; 3) лазеры на растворах красителей; 4) на атомных и молекулярных газах; 5) на полупроводниковых материалах; 6) лазеры на электронно-колебательных переходах примесей; 7) лазеры на центрах окраски. Методы повышения эффективности активных сред твердотельных лазеров. Лазеры на вынужденном комбинационном рассеянии. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, переходные процессы, режим модуляции добротности резонатора, синхронизация мод. Сверхкороткие импульсы. Методы стабилизации частоты лазеров. Шумы и предельная стабильность. Стандарты частоты. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: селективное воздействие на атомы и молекулы, разделение изотопов и стимулирование химических реакций. Лазерный нагрев плазмы, лазерный термоядерный синтез. Методологическое значение радиофизики и, в частности, теории колебаний и волн, квантовой радиофизики в развитии естественных наук.

### **3.5. Современные методы генерации электромагнитных сигналов**

Системы взаимно синхронизированных автогенераторов. Подходы к анализу устойчивости. Взаимная синхронизация двух одинаковых автогенераторов. Сигналы без несущей частоты. Модуляторы и демодуляторы. Генерация сверхкоротких и сверхширокополосных импульсов. Методы регистрации. Аппаратные функции систем и методы их расчета и измерения. Высоковольтные генераторы импульсов напряжения. Хаос в динамических системах. Примеры физических систем с динамическим хаосом. Экспоненциальная неустойчивость по Ляпунову. Эволюция фазового объема для устойчивых и неустойчивых траекторий. Понятие странного аттрактора. Качественные характеристики хаотических движений. Бифуркации устойчивых предельных циклов и странных аттракторов. Синхронизация и управление хаотическими режимами колебаний. Внутренние и внешние параметры: спектр мод, добротность и способы её модуляции, мощность излучения, энергия, угловая расходимость и линейный размер пучка, длина волны излучения, когерентность, поляризация и др. Управление параметрами лазеров. Генерация пико- и фемтосекундных импульсов.

### **3.6. Излучение и прием электромагнитных волн, электромагнитная совместимость**

Излучение и прием электромагнитных волн. Ближняя и дальняя зоны. Понятие реактивного поля и поля излучения. Узкополосные, широкополосные и сверхширокополосные антенные системы. Точные и приближенные методы расчета. Эквивалентная схема антенны. Фазированные антенные решетки и интерферометры. Радиоголография. Антенны в материальных средах. Чувствительность радиосистем, яркостная температура источника излучения и шумовая температура антенны. Разрешающая способность антенной системы, когерентность излучения и понятие потерь усиления. Векторные и активные антенны. Излучение и прием акустических волн. Оптические и инфракрасные генераторы и приемники. Матричные фотоприемники на основе приборов с переносом заряда и гибридные фотоприемники. Тепловые детекторы: термопары и болометры. Пироэлектрические приемники. Фотонные детекторы: фоторезисторы, фотодиоды. МДП-фотодетекторы, фотоэмиссионные детекторы, детекторы на сверхрешетках

и квантовых ямах. Детекторы: ионизирующей радиации, нейтронов, гамма-квантов, быстрых электронов, протонов, ионов. Радиационная стойкость. Помехи при работе радиолиний. Шумы внутренние и внешние, естественного и искусственного происхождения. Заполненность радиодиапазона и электромагнитный фон. Электромагнитная совместимость радиосредств и радиоборьба. Методы пространственной, поляризационной, частотной и фазовой селекции сигналов и полей. Методы борьбы с затираниями, шумами и помехами.

### **3.7. Распространение радиоволн в атмосферах Земли, планет, в космосе, вдоль Земли и при наличии границ раздела сред**

Особенности распространения радиоволн вдоль земной поверхности. Отражение, замедление и поглощение волн. Дифракция волн вокруг сферической поверхности Земли, Множитель ослабления в зонах прямой видимости, тени и полутени. Приведенные высоты и пределы применимости интерференционных формул. Влияние рельефа местности, дифракционное усиление поля за препятствием, дифракторы. Поляризационные эффекты. "Взлетная" и "посадочная" площадки. Береговая рефракция. Распространение радиоволн в слоистых средах и проникновение их вглубь земных покровов, скин-эффект, боковая волна, волны типа «шепчущей галереи», связь с подводными лодками, акустические волноводные каналы. Распространение над случайно неровными поверхностями. Критерий Рэлея. Флуктуации поля при рассеянии на мелкомасштабных и крупномасштабных неровностях. Двухмасштабная модель. Обратная и бистатистическая локация неровных поверхностей Земли и планет. Многократные затенения и переотражения. Спектральные свойства сигналов в условиях подвижной связи. Распространение радиоволн в атмосферах Земли и планет Солнечной системы. Строение атмосфер, сферически симметричные модели. Поглощение и ослабление, рефракция, запаздывание. Понятия траектории радиоволн и эквивалентного радиуса Земли. Фазовые, частотные и поляризационные искажения поля в тропосфере и ионосфере. Влияние магнитного поля на траектории радиоволн в ионосфере. Критическая частота и максимально применимая частота. Мертвые зоны. Особенности ионосферного распространения коротких, средних, длинных и сверхдлинных волн. Понятие шумановских резонансов. Рассеяние радиоволн в неоднородной атмосфере Земли. Колмогоровская модель турбулентных неоднородностей и понятие однородной, локально-однородной и локально-изотропной турбулентностей. Ветры и гипотеза замороженности. Дальнее тропосферное распространение УКВ при рассеянии на турбулентных неоднородностях и при волноводном распространении. Распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн. Влияние осадков. Ионосферное рассеяние волн. Отражение радиоволн от ионизированных следов метеоров. Поглощение в ионосфере. Особенности распространения радиоволн в космосе. Околосолнечная и межпланетная плазма, солнечный ветер. Распределение электронной концентрации и её флуктуации. Запаздывание, рефракция и флуктуации электромагнитных волн. Размытие энергетического спектра. Связь с космическими аппаратами и методы зондирования космических сред. Интерферометрические и сверхбольшебазовые измерения. Радиоастрометрия.

### **3.8. Распространение радиоволн в направляющих структурах и искусственных средах**

Волновые поля в направляющих структурах. Закрытые и открытые волноводы, микрополосковые линии, оптические волокна. Непрерывный и дискретный спектры волн. Медленные и быстрые волны. Нормальные волны и методы их описания: собственных функций и разделения переменных, конечных разностей и конечных элементов. Метод интегральных преобразований. Влияние сред заполнения. Спиральные и другие замедляющие структуры. Резонансные частоты и добротность закрытых и открытых резонаторов различной формы. Эквивалентные схемы. Добротность и избирательность. Вариационные методы и методы возмущений расчета закрытых и открытых резонаторов. Современные искусственные радиоматериалы. Понятия изотропных и биизотропных сред. Понятия анизотропных и бианизотропных сред. Материальные и дисперсионные уравнения. Киральные среды. Функция Грина для киральной среды. Прогнозирование параметров киральных композиций. Практические применения киральных сред.

### **3.9. Методы радиофизических исследований сред и обработка сигналов**

Физические основы радиоволнового измерения геометрические, электрических и магнитных параметров радио материалов в закрытых и полукрытых структурах. Автоматизация эксперимента, виртуальные инструменты. Примеры использования. Основы зондирования протяженных сред и открытых структур. Активная и пассивная, узкополосная, широкополосная, нелинейная и сверхширокополосная радиолокация. Подповерхностная и подземная радиолокация. Методы поляризационной селекции радиолокационных целей. Методы радиолокации с синтезированной апертурой. Аэрокосмические методы зондирования поверхностей Земли и планет. Методы восстановления параметров атмосфер по регулярным и флуктуационным изменениям параметров радиоволн. Радиометеорология. Электромагнитная экология. Прямые и обратные задачи. Понятие устойчивости и корректности. Методы регуляризации и понятие регуляризирующего функционала. Спектральные методы и методы сверхразрешения. Статистические оценки параметров и их надежность. Информационная емкость радиоволн в исследовании сред и передаче сообщений, энтропия и потенциальная неоднозначность восприятия приемных систем.

## **4. Перечень примерных вопросов**

1. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные системы.
2. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.
3. Представление вынужденных колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн, бегущих и отраженных от концов системы.
4. Классический вариант формулы Найквиста. Обнаружение слабых сигналов на фоне шумов. Оценка параметров сигналов. Согласованный фильтр.
5. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера-Хинчипа.
6. Теорема Котельникова. Проблемы статистической оптики.
7. Представление волновых пучков в виде суперпозиции плоских волн. Дифракционное расплывание пучка. Параболическое уравнение.
8. Нелинейные эффекты при распространении электромагнитных волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Фазовый синхронизм.

9. Волноводы СВЧ диапазона. Диэлектрические волноводы в оптике. Принципы построения антенн. Пространственные гармоники в периодических структурах.
10. Полуклассическая теория излучения. Вероятность однофотонных и многофотонных процессов.
11. Взаимодействие электромагнитного поля и вещества в дипольном приближении. Линейные и нелинейные тензоры диэлектрической
12. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: селективное воздействие на атомы и молекулы, разделение изотопов и стимулирование химических реакций.
13. Методы стабилизации частоты лазеров. Шумы и предельная стабильность.
14. Стандарты частоты. Лазерный нагрев плазмы, лазерный термоядерный синтез.
15. Методологическое значение радиофизики и, в частности, теории колебаний и волн, квантовой радиофизики в развитии естественных наук.
16. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением; фотонное эхо, самоиндуцированная прозрачность.
17. Методы повышения эффективности активных сред твердотельных лазеров. Лазеры на вынужденном комбинационном рассеянии.
18. Методы создания инверсии населенности и отрицательного поглощения. Молекулярный генератор. Уравнение для поля в квантовом генераторе.
19. Системы взаимно синхронизированных автогенераторов. Подходы к анализу устойчивости. Взаимная синхронизация двух одинаковых автогенераторов.
20. Аппаратные функции систем и методы их расчета и измерения.
21. Высоковольтные генераторы импульсов напряжения. Хаос в динамических системах.
22. Бифуркации устойчивых предельных циклов и странных аттракторов.
23. Примеры физических систем с динамическим хаосом. Экспоненциальная неустойчивость по Ляпунову.
24. Эволюция фазового объема для устойчивых и неустойчивых траекторий. Понятие странного аттрактора. Качественные характеристики хаотических движений.
25. Излучение и прием электромагнитных волн. Ближняя и дальняя зоны. Узкополосные, широкополосные и сверхширокополосные антенные системы.
26. Фотонные детекторы: фоторезисторы, фотодиоды. МДП-фотодетекторы, фотоэмиссионные детекторы, детекторы на сверхрешетках и квантовых ямах.
27. Методы пространственной, поляризационной, частотной и фазовой селекции сигналов и полей. Методы борьбы с затираниями, шумами и помехами.
28. Колмогоровская модель турбулентных неоднородностей и понятие однородной, локально-однородной и локально-изотропной турбулентностей. Ветры и гипотеза замороженности.
29. Флуктуации поля при рассеянии на мелкомасштабных и крупномасштабных неровностях. Двухмасштабная модель.
30. Нормальные волны и методы их описания: собственных функций и

разделения переменных, конечных разностей и конечных элементов.

31. Прямые и обратные задачи. Понятие устойчивости и корректности. Методы регуляризации и понятие регуляризирующего функционала.

32. Активная и пассивная, узкополосная, широкополосная, нелинейная и сверхширокополосная радиолокация.